

ASPECTOS DA INTEGRAÇÃO
SISTEMAS ESPECIALISTAS E
BANCOS DE DADOS

Pedro Manoel Silveira

NCE 0687

Abril, 1987

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Núcleo de Computação Eletrônica
Caixa Postal 2324
20001 - Rio de Janeiro, RJ
BRASIL

**ASPECTOS DA INTEGRAÇÃO
SISTEMAS ESPECIALISTAS E BANCOS DE DADOS**

Pedro M. Silveira

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise de alguns aspectos da integração Sistemas Especialistas e Bancos de Dados, à luz de seus modelos teóricos, buscando a identificação de dificuldades comuns e pontos de cooperação entre as duas tecnologias. Basicamente, os aspectos abordados são Modelagem de Dados, Integridade dos Dados, Informações Negativas, Recursão, Otimização Semântica e exemplos de integração.

ABSTRACT

This article presents an analysis of some aspects of the integration between Expert Systems and Databases, under the view of their theoretical models. Basically, these aspects are Data Modelling, Data Integrity, Negative Information, Recursion, Semantic Query Optimization and examples of integration.

I) Introdução

A pesquisa na Area de Sistemas Especialistas tomou enorme impulso nos últimos dois ou três anos. Isso pode ser facilmente constatado pelo número significativo de artigos, livros, simpósios e conferências tratando do assunto, surgidos recentemente [1,2,3,4,21]. Sistemas Especialistas caracterizam uma tecnologia recente, repleta de expectativas.

Um fato curioso é que no início da década de 70, Bancos de Dados surgiam no cenário da Computação com a proposta de "tornar uma coleção de dados integrados disponíveis a uma larga variedade de usuários" [5], entre outros objetivos, alguns alcançados outros não. Aquela proposta não difere em muito dos objetivos hoje propalados para Sistemas Especialistas. Por exemplo, é difícil encontrar-se uma definição precisa para Sistemas Especialistas que os distinga decisivamente de Bancos de Dados. Na comparação de Sistemas Especialistas com Bancos de Dados, a distinção mais marcante parece ser a de que estes lidam com dados e aqueles com conhecimento. Ao lado disso, entretanto, ainda há muito em comum entre Bancos de Dados e Sistemas Especialistas.

Uma pergunta que surge naturalmente neste ponto é até onde Sistemas Especialistas poderão triunfar em aspectos nos quais Bancos de Dados não satisfizeram as expectativas por eles criadas. Ainda mais, quais as implicações dos modelos teóricos de cada disciplina e quais as dificuldades comuns.

O propósito deste artigo é analisar alguns aspectos da integração de Bancos de Dados com Sistemas Especialistas, à luz de seus modelos teóricos, buscando a identificação de dificuldades comuns e, também, de pontos de cooperação entre as duas tecnologias. Basicamente, os aspectos abordados são Modelagem de Dados, Informações Negativas, Integridade de Dados, Concorrência, Inferências, Recursão, Otimização Semântica e Distribuição.

II) Modelo Teórico de Sistemas Especialistas

E difícil precisar numa definição o que são Sistemas Especialistas. Vários autores tentaram definições diversas, na sua maioria intuitivas e circunstanciais. Talvez uma boa maneira de caracterizar Sistemas Especialistas seja pela descrição de seu

modelo teórico.

Sistemas Especialistas são a consequência de diversos desenvolvimentos na Área de Inteligência Artificial associados a outros na Área de Bancos de Dados. Termos variados, como Deductive Databases, Query Answering Systems, Knowledge Based Systems, entre outros, caracterizam várias idéias e protótipos [6] que assemelham-se teoricamente ao atual estágio dos Sistemas Especialistas.

Nestes modelos, a base de conhecimentos (ou dados, num prisma mais tradicional) consiste de uma teoria, normalmente no contexto de Lógica de 1. Ordem [7]. Uma teoria é um conjunto de teoremas, a partir dos quais outros teoremas podem ser inferidos segundo regras de inferência determinadas. Teoremas são fórmulas lógicas, cujo enunciado deve ser sempre verdadeiro. Por exemplo, suponha o esquema relacional da Figura 1, na página 16. Uma teoria que representasse aquelas informações (considerando as instâncias ali sugeridas) consistiria da existência dos predicados

músico(,_,_)
opus(,_,_)
gravação(,_,_,_)

onde os traços indicam os espaços (ou lugares) para os termos dos predicados, quando de seu uso nos teoremas. Além disso, domínios poderiam ser especificados, na forma de conjuntos, como por exemplo

STR = 1..140
ANO = {1500,...,2000}

representando o conjunto de strings com 40 caracteres e o conjunto de números inteiros no intervalo [1500,2000]. Esses elementos são reunidos às variáveis e símbolos lógicos para a formação de fórmulas ou teoremas. No exemplo em questão, os seguintes teoremas estariam presentes

$\forall x \quad \forall y$	$\text{músico}(x,y) \rightarrow x \in \text{STR} \ \& \ y \in \text{ANO}$	(1)
$\forall x \quad \forall y$	$\text{opus}(x,y) \rightarrow x \in \text{STR} \ \& \ y \in \text{STR}$	(2)
$\forall x \quad \forall y \quad \forall z$	$\text{gravação}(x,y,z)$	(3)

-> $x \in \text{STR} \ \& \ y \in \text{STR} \ \& \ z \in \text{STR}$

músico(Beethoven,1770) (4)

músico(Bach,1685) (5)

músico(Bernstein,1918) (6)

opus(Beethoven,Nona Sinfonia) (7)

..... ...

gravação(Ozawa,Fil. Boston,Nona Sinfonia) (11)

Os teoremas de 1 a 3 especificam os domínios para os termos aparecendo juntamente com os predicados MÚSICO, OPUS, GRAVAÇÃO. Tomando o primeiro como exemplo, pode-se ler "para todo x e todo y, se x e y aparecem no predicado MÚSICO, então x pertence ao domínio STR e y pertence ao domínio ANO". Os teoremas 4 em diante são asserções, as quais constroem as instâncias dos predicados OPUS, MÚSICO, GRAVAÇÃO.

Note-se que não há diferenciação entre esquema (Teoria) e dados (Modelo), como existe para Bancos de Dados Extensionais. Teoremas podem registrar "regras de inferência/integridade", como os de 1 a 3, bem como podem estabelecer "dados", como as instâncias das relações.

O modelo teórico aqui descrito permite combinações interessantes. Uma delas é que as asserções podem ser disjunções. Por exemplo, o teorema

músico(Vivaldi,1678) músico(Vivaldi,1679)

indica que Vivaldi nasceu em 1678 ou 1679. Outra possibilidade é uma manipulação mais efetiva de informação imprecisa. Por exemplo, suponha a existência de uma Sinfonia Misteriosa na base de conhecimentos. Neste caso, poder-se-ia representar a informação

$\exists x \text{ opus}(x, \text{Sinfonia Misteriosa})$

indicando que a Sinfonia tem um autor, o qual é desconhecido, ou

not $\exists x \text{ opus}(x, \text{Sinfonia Misteriosa})$

indicando que a Sinfonia Misteriosa não tem autor algum, sendo

produto da Tradição. Há também a possibilidade de representar-se explicitamente informações negativas. Por exemplo,

not opus(Beethoven, Sinfonia Misteriosa)

significaria que, definitivamente, Beethoven não é o compositor da Sinfonia Misteriosa. Note-se que em Bancos de Dados convencionais informações negativas existem apenas pela inexistência da informação contrária.

O tratamento indistinto dos teoremas, entretanto, introduz a dificuldade de distinguir-se entre regras de inferência e restrições de integridade. Uma fórmula como

$\forall x \forall y \text{ opus}(x,y) \rightarrow \exists z \text{ músico}(x,z)$

lida "para todo x e todo y, se x e y aparecem no predicado OPUS, então existe um z, tal que x e z aparecem no predicado MÚSICO", pode sugerir duas interpretações. Na primeira, supõe-se que "todo compositor (x) deve aparecer também como músico (tendo nascido num ano qualquer z)". Esta é uma restrição de integridade. Na segunda, supõe-se que "todo compositor pode ser automaticamente cadastrado como músico, com um ano de nascimento (z) não especificado". Esta seria uma inferência.

III) O Modelo Teórico de Bancos de Dados

Os Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados existentes no mercado seguem o modelo teórico que chamaremos Bancos de Dados Extensionais. Neste modelo, o banco de dados em si é uma interpretação de uma teoria em Lógica de 1. Ordem [8]. Uma teoria é um conjunto de fórmulas a respeito de um certo universo. Uma interpretação, no caso de Bancos de Dados, é um conjunto de dados com os quais se pode avaliar as fórmulas. Se todas as fórmulas são verdadeiras, então a interpretação é dita um Modelo da teoria. Em Bancos de Dados Extensionais, o Esquema Conceitual faz o papel de uma teoria enquanto que os dados armazenados devem ser um modelo daquela teoria.

E hora de um exemplo. Considere-se o esquema relacional da Figura 1. O esquema estabelece as relações existentes no banco

de dados (predicados), e os domínios de cada atributo. O conteúdo das relações não é ditado por teoremas (ou fórmulas no esquema) mas sim pela presença de tuplas nas instâncias das relações. Isto é, há uma separação bem definida entre o esquema (a Teoria) e os dados (o Modelo). Para aquele esquema, ter-se-ia como predicados

```
músico(_,_)
opus(_,_)
gravação(_,_,_)
```

e como domínios

```
STR = .140
ANO = 1500,..,2000}
```

e como teoremas

- $$\begin{aligned} \forall x \forall y \quad \text{músico}(x,y) &\rightarrow x \in \text{STR} \ \& \ y \in \text{ANO} & (1) \\ \forall x \forall y \quad \text{opus}(x,y) &\rightarrow x \in \text{STR} \ \& \ y \in \text{STR} & (2) \\ \forall x \forall y \forall z \quad \text{gravação}(x,y,z) &\rightarrow x \in \text{STR} \ \& \ y \in \text{STR} \ \& \ z \in \text{STR} & (3) \end{aligned}$$

Os teoremas 1-3 especificam os domínios para os termos aparecendo juntamente com os predicados MÚSICO, OPUS, GRAVAÇÃO. Tomando 1 como exemplo, pode-se ler "para todo x e todo y, se x e y aparecem no predicado MÚSICO, então x pertence ao domínio STR e y pertence ao domínio ANO".

Caso todos os teoremas sejam verdadeiros para as instâncias das relações então elas são um modelo da teoria e o banco de dados é dito estar consistente.

Algumas das consequências deste modelo teórico são a seguir analisadas. A manipulação de valores desconhecidos é uma delas. Por exemplo, a t  pla

```
opus(?,Sinfonia Misteriosa)
```

não deixa claro se a Sinfonia Misteriosa tem um autor que    desconhecido, ou se não tem autor algum.

Quanto às asserções, não há a possibilidade de usar-se disjunções. Por exemplo, não se pode afirmar que Vivaldi nasceu ou em 1678 ou em 1679, uma vez que trabalhamos diretamente com instâncias da relação. No modelo relacional, uma tupla ou está na instância de uma relação ou não está. Disjunções não são permitidas.

A especificação de restrições de integridade gera teoremas que restringem os modelos numa certa interpretação. A restrição de que todo condutor deve ser um músico, geraria a fórmula

$$\forall g \in \text{gravação} \exists m \in \text{músico} \\ g.\text{Condutor} = m.\text{Nome}$$

lida "para toda a tupla g em GRAVAÇÃO, existe uma tupla m em MÚSICO, tal que o atributo Condutor em g seja igual ao atributo Nome em m". Restrições de integridade são parte do esquema conceitual em Bancos de Dados Extensionais e, portanto, complementam a teoria representada no esquema conceitual.

IV) Consultas

Nós agora examinamos os modelos básicos de consultas que podem ser expressas para ambos os modelos, denominadas Consultas Abertas e Consultas Fechadas [8].

A consulta "Quais os músicos nascidos depois de 1900?" é uma consulta do tipo aberta, e tem a forma

$$\exists y \text{ músico}(x,y) \ \& \ y > 1900 \ ?$$

No modelo de Bancos de Dados Extensionais, a resposta dá-se pela formação de tabelas-verdade, arrolando-se todos os valores do domínio de x para os quais a fórmula é verdadeira. Da mesma forma, no modelo de Sistemas Especialistas isto significa descobrir todos os valores de x para os quais a fórmula acima pode ser provada verdadeira.

Um exemplo de consulta fechada, por outro lado, poderia ser a consulta "Bach nasceu em 1685?", cuja representação seria

$$\text{opus}(\text{Bach}, 1685) \ ?$$

Note-se que agora a fórmula é fechada e não há variáveis livres como havia x no caso acima. A resposta para tal consulta pode ser SIM, NAO, NAO SEI, caso 1) a fórmula possa ser provada, 2) sua negação possa ser provada, ou 3) nenhum dos dois aconteça, respectivamente.

V) Problemas em Comum

Há vários tópicos em comum em Bancos de Dados e Sistemas Especialistas. Nesta seção nós analisamos os principais, à luz dos modelos teóricos como expostos anteriormente.

Modelagem de Dados

O problema de como representar dados e conhecimento é bastante semelhante em Bancos de Dados e Sistemas Especialistas. De um lado, modelos para Bancos de Dados enfatizam vários aspectos como

- poder de expressão reduzido, visando maior eficiência no processamento;
- importância para procedimentos de atualização de dados;
- centralidade de aspectos computacionais;
- propósito geral.

Para Sistemas Especialistas entretanto, aspectos como

- interpretação semântica;
- mecanismos de inferência;
- baixa taxa de atualização;
- propósito específico,

introduzem novos requerimentos aos modelos de dados existentes. É necessário estender os modelos atuais de modo a cobrir satisfatoriamente novos requisitos.

A semântica da aplicação deve ser claramente veiculada. Tanto em Sistemas Especialistas como Bancos de Dados, os modelos carecem de uma maior riqueza na descrição do significado dos objetos no mundo real, e de seus relacionamentos.

A dimensão temporal é algo há muito necessário em Bancos de Dados. É importantíssimo que modelos de dados sejam capazes de abrigar naturalmente relações temporais, e a deficiência existen-

te para Bancos de Dados parece permanecer com Sistemas Especialistas.

Informação imprecisa ou incompleta é um item de pesquisa constante na Área de Bancos de Dados. Embora o problema de registrá-la seja relativamente simples, o tratamento de consultas envolvendo incerteza é bastante complexo.

Em Bancos de Dados a abordagem mais plausível é o uso de Lógicas de três estados, TRUE, FALSE, MAYBE [9]. Ainda assim, persistem vários pontos, tais como a necessidade de estender as operações da Álgebra Relacional. A maioria dos sistemas comercializados não suporta tais facilidades. Normalmente, valores desconhecidos são caracterizados por valores padrões, tais como NULL ou zeros, embora seu tratamento semântico não corresponda fielmente à conotação de "valor desconhecido".

A solução clássica em Sistemas Especialistas é o uso de graus de incerteza para atribuições ou regras de produção. O mecanismo de inferência deve ser adaptado para tais circunstâncias.

No sistema MYCIN [1] por exemplo, o grau de certeza (ou incerteza) de um objeto varia no intervalo $[-1, +1]$. O gerenciamento de incerteza toma três aspectos: fatos podem ser concluídos por mais de uma regra, cujos fatores de incerteza são então combinados; os conectores lógicos podem operar sobre fatos incertos, gerando conclusões incertas; e as regras podem elas mesmas ser incertas.

Neste ponto, Bancos de Dados e Sistemas Especialistas tomaram abordagens distintas. Enquanto Bancos de Dados partem para uma solução mais restrita, como uma Lógica de três estados, Sistemas Especialistas seguem na trilha de uma solução mais sofisticada, cujas consequências e domínio, entretanto, ainda não são totalmente dominados. Note-se que esta possibilidade é derivada da natureza das consultas fechadas, onde as consequências de informação incerta ficam melhor inseridas. Em consultas abertas entretanto, fatos incertos podem complicar e, eventualmente, tornar inteligíveis alguns resultados, devido às implicações dos fatores de incerteza [10].

Restrições de Integridade

Em Bancos de Dados, o problema é como garantir que as ins-

tâncias das relações sejam sempre modelos da teoria representada no esquema conceitual. Tal facilidade é altamente restrita em sistemas comerciais. Na maior parte deles, apenas fórmulas envolvendo uma variável são verificáveis, e a solução generalizada assume dimensões exponenciais [11]. Este é um ponto vulnerável em bancos de dados uma vez que a impossibilidade de cumprir tais restrições leva à transferência de tais atribuições para os programas aplicativos, retirando do esquema conceitual informações sobre a semântica da aplicação, as quais poderiam ser úteis no processamento de consultas.

Para Sistemas Especialistas, tal problema assume outros aspectos. Não há modelos específicos a manter e a análise da integridade transforma-se na verificação da consistência da própria teoria, isto é, se as regras são consistentes entre si ou não. Um exemplo de inconsistência seria quando um fato e sua negação pudessem simultaneamente ser provados como verdadeiros. Tal problema é largamente conhecido, e soluções satisfatórias não são possíveis no plano geral. Mesmo com o uso de cláusulas Horn [3] e outras simplificações, como é o caso de Sistemas Especialistas, tais dificuldades persistem.

Informações Negativas

Bancos de Dados invariavelmente trabalham sob a hipótese do mundo fechado (Closed World Assumption) [12]. Fatos negativos não são declarados e a negação existe apenas pela ausência de sua informação positiva contrária. Isto leva a limitações como vimos anteriormente. Sistemas Especialistas por outro lado, permitem em princípio asserções negativas explícitas, tornando mais rica a informação sobre determinado universo. Ainda assim, alguma hipótese é necessária para a representação de informação negativa, devido à massiva quantidade de fatos negativos existentes, se comparada à quantidade de fatos positivos. Negation by Failure [13] é a hipótese normalmente utilizada para tal fim. A negação de um teorema é verdadeira se o teorema não pode ser provado. Tal hipótese, entretanto, requer o uso de cláusulas Horn [12]. Suponha-se que

seja uma asserção. Os teoremas

músico(Vivaldi,1678) (2)

músico(Vivaldi,1679) (3)

não podem ser provados e portanto as asserções

not músico(Vivaldi,1678) (4)

not músico(Vivaldi,1679) (5)

são consideradas verdadeiras. Entretanto, a união das asserções 1,4,5 acima é inconsistente.

O uso de informação imprecisa não é claro quanto à hipótese de fatos negativos. Um fato que provavelmente é verdadeiro, provavelmente é falso também. Além disso, o limite a partir do qual fatos provavelmente conflitantes caracterizam realmente uma inconsistência deve ser cuidadosamente analisado.

Recursão

A combinação de inferências e definições recursivas oferece um ambiente atrativo para Bancos de Dados e Sistemas Especialistas. Entretanto, a utilização irrestrita de recursão ainda não tem soluções plenamente satisfatórias.

A maioria absoluta de Bancos de Dados comerciais não permite definições recursivas, embora em alguns modelos como DAPLEX [14], o cálculo de relações transitivas apareça como uma operação específica. Recursão daria um poder significativo a Bancos de Dados, uma vez que vários deles permitem a definição de vistas a partir de expressões complexas. De qualquer modo, Bancos de Dados sempre distinguem as relações em primárias e derivadas. Isto é, ou uma relação é totalmente constituída por tuplas próprias, ou é totalmente derivada por expressões, não podendo haver combinações.

Para o modelo de Sistemas Especialistas, tal restrição inexistente. Por exemplo, um predicado pode abrigar valores resultantes de asserções (fatos) específicas ou resultantes da aplicação de regras de inferência.

O problema comum aqui é o desenvolvimento de metodologias eficientes e completas para o caso geral de definições recursivas. Há vários trabalhos recentes neste trilha [15,16], embora soluções plenamente satisfatórias ainda estejam por aparecer.

Concorrência / Distribuição

A intensa utilização de Bancos de Dados durante os últimos quinze anos permitiu o desenvolvimento de várias técnicas para o tratamento do problema de controle de concorrência. Ainda assim, ainda há muito o que fazer, em virtude de maiores demandas geradas pelo próprio uso massivo de bases de dados e por novos desenvolvimentos tecnológicos, tais como Sistemas Distribuídos [17].

Ao mesmo tempo, nota-se uma necessidade latente de tornar tais tecnologias disponíveis a Sistemas Especialistas. Sistemas Especialistas são sistemas tratando de problemas específicos, de caráter restrito, e não é difícil imaginar-se a integração de vários Sistemas Especialistas no futuro, ou a utilização de bases de conhecimento comuns, multi-usuário.

Enquanto Bancos de Dados baseiam-se no conceito central de transação, o problema para Sistemas Especialistas parece ser mais complexo. Alguns trabalhos nesta área aplicam-se ao desenvolvimento de metodologias de controle de concorrência orientados para linguagens como PROLOG [22].

Bancos de Dados possuem uma extensa experiência em controle de concorrência e distribuição, que deve ser aproveitada e adaptada para Sistemas Especialistas.

VI) Integrando Sistemas Especialistas e Bancos de Dados

A integração das tecnologias de Sistemas Especialistas e Banco de Dados é agora discutida. De um lado Sistemas Especialistas precisam de Bancos de Dados por motivos como

- armazenamento e acesso à base de dados;
- capacidade de armazenamento;
- facilidades de compartilhamento;
- robustez, eficiência e confiabilidade do software

Por outro lado, Bancos de Dados podem obter benefícios diversos de Sistemas Especialistas, tais como

- representação mais rica dos conhecimentos em projetos como CAD/CAM para Engenharia, automação de escritórios, bases de conhecimentos, etc...;
- funcionalidade, resultante da capacidade de inferência, dinamicidade das bases de conhecimento, etc...

Há vários sistemas protótipos explorando tal integração. Basicamente, duas linhas principais ficam evidentes e são delineadas a seguir.

Inferências para Bancos de Dados

A abordagem aqui baseia-se na utilização de Máquinas de Inferências em conjunto com Bancos de Dados Extensionais. Há um enorme investimento já realizado em tais bases de dados e a introdução de tais técnicas é razoável.

A idéia é utilizar-se informações semânticas do esquema conceitual no processamento de consultas e na verificação de esquemas [18,19]. Por exemplo, no Sistema INGRES versão 7.0, duas restrições de integridade como

```
RANGE OF m IS MUSICO
```

```
DEFINE INTEGRITY ON m IS m.Ano > 1600
```

```
DEFINE INTEGRITY ON m IS m.Ano < 1600
```

são silenciosamente aceitas pelo banco de dados, mesmo que condenando a relação MUSICO ao eterno vazio, pois tupla alguma pode atender às duas condições simultaneamente.

Da mesma forma, a informação existente no esquema pode ser usada para a reformulação de consultas. Suponha-se a consulta

```
RANGE OF m IS MUSICO
```

```
RANGE OF g IS GRAVAÇÃO
```

```
RETRIEVE (g.Conductor WHERE g.Conductor=m.Nome
```

requisitando a relação de condutores que são também músicos. A consulta como está envolve a junção das relações MUSICO e GRAVAÇÃO. Entretanto, se considerar-se a restrição usada na Seção II,

que estabelecia que todo condutor devia ser também um músico, então a consulta acima poderia ser expressa como

RETRIEVE (g.Condutor)

resultando na eliminação da operação de junção.

Bancos de Dados Suportando o Processo de Inferência

Outra forma geral de integração é a utilização de Bancos de Dados como suporte ao processo de inferência. Um exemplo de tal integração é o Sistema PROSQL [20], desenvolvido na IBM. A idéia é permitir-se a programas em PROLOG acesso a uma base de dados gerenciada pelo Sistema SQL/DS. Este é um gerenciador de banco de dados relacional, suportando indexação, concorrência, recuperação, proteção, etc...

Um exemplo de tal utilização aparece abaixo. Suponha-se o seguinte programa PROLOG

```
músico(Beethoven,1770).
músico(Bach,1685).
músico(Bernstein,1918).
opus(Beethoven,Nona Sinfonia).
opus(Bernstein,West Side Story).           {assertões}
opus(Bach,Missa em Ré Menor).
gravação(Karajan,Fil. Berlim,Nona Sinfonia).
gravação(Bernstein,New York P. O.,West Side Story).
gravação(Ozawa,Fil. Boston, Nona Sinfonia).

t(*x,*z,*w) : opus(*x,*y), gravação(*z,*w,*y).      {regra

t(*x,*z,*w)?                                         {gol
```

O mesmo programa em PROSQL seria da forma

```
sql('SELECT * FROM opus')?
sql('SELECT * FROM gravação')?

t(*x,*z,*w) : opus(*x,*y), gravação(*z,*w,*y).
```

$t(*x,*z,*w)?$

onde sql é um predicado especial que passa um comando para SQL/DS. Embora o exemplo acima seja bastante simples, PROSQL permite vários graus de integração, inclusive tight-coupling, onde variáveis são manipuladas e restritas a constantes na interação com o banco de dados.

VII) Conclusões

Neste artigo nós apresentamos vários aspectos relativos à integração Bancos de Dados, Sistemas Especialistas. Embora tais metodologias tenham objetivos distintos, há muito em comum entre elas, o que sugere um processo de realimentação de técnicas entre as duas disciplinas.

Aspectos como modelagem de dados, restrições de integridade, informação negativa, recursão, controle de concorrência e distribuição foram analisados à luz dos modelos teóricos de Bancos de Dados e Sistemas Especialistas.

A conclusão que pode ser extraída de tal análise é a de que Sistemas Especialistas necessitam superar alguns problemas encontrados por Bancos de Dados, para melhor atender às expectativas em torno deles criada.

Por outro lado, em vários trabalhos o termo Expert Database System [21] é utilizado, fazendo referência a sistemas nascidos da integração de Bancos de Dados e Sistemas Especialistas, onde idéias de integração como as aqui apresentadas são postas em prática.

MÚSICO

Nome	Ano
Beethoven	1770
Bach	1685
Bernstein	1918

OPUS

Compositor	Titulo
Beethoven	Nona Sinfonia
Bernstein	West Side Story
Bach	Missa em Ré Menor

GRAVAÇÃO

Condutor	Orquestra	Opus
Karajan	Fil. Berlim	Nona Sinfonia
Bernstein	New York P. O.	West Side Story
Ozawa	Fil. Boston	Nona Sinfonia

Figura 1. O Esquema Relacional e suas instâncias

REFERENCIAS

1. Harmon, P. & King, D.
Artificial Intelligence in Business - Expert Systems
John Wiley & Sons, 1985
2. Forsyth, R. (Ed.)
Expert Systems - Principles and Case Studies
Chapman & Hall Computing, 1984
3. Alty, J. L. & Coombs, M. J.
Expert Systems - Concepts and Examples
NCC Publications, 1984
4. Sell, P.
Expert Systems - A Practical Introduction
MacMillan, 1985
5. Fry, J. & Sibley, E. H.
Evolution of Data-Base Management Systems
ACM Computing Surveys, Vol 8 N 1 1976
6. Gallaire, H. & Minker, (Eds.)
Logic and Databases
Plenum Press, NY, 1978
7. Robin, J. W.
Mathematical Logic
W. A. Benjamin, NY, 1969
8. Nicolas, J. M. & Gallaire, H.
Databases: Theory Vs. Interpretation
Publicado na Referência 6
9. Date, C. J.
Null Values in Database Management
Proc. of the 2nd British National Conference on Databases,
1982
10. Reiter, R.
Equality and Domain Closure in First-Order Databases
Journal of the ACM, Vol 27 N 2 1980
11. Frost, R. A. & Whittaker, S.
A Step Towards the Automatic Maintenance of the Semantic Integrity Constraints
The Computer Journal, Vol 26 N 2 1982
12. Reiter, R.

- On Closed World Databases
Publicado na Referência 6
13. Negation as Failure
Clark, K. L.
Publicado na Referência 6
14. Shipman, D. W.
The Functional Data Model and the Data Language DAPLEX
ACM TODS Vol 6 N 1 1981
15. Ullman, J.
Implementation of Logical Query Languages for Databases
ACM TODS, Vol 10 N3 1985
16. Henschen, L. J. & Naqvi, S. A.
On Compiling Queries in Recursive First-Order Databases
Journal of the ACM, Vol 31 N 1 1984
17. Ceri, S.
Distributed Databases Systems: Principles and Systems
McGraw-Hill, 1984
18. Hammer, M. & Zdonick-Jr, S. B.
Knowledge-Based Query Processing
Proc. of the 6th VLDB, 1980
19. Silveira, P. M.
Database Design and Query Reformulation With an Inference Machine
PhD Thesis, University of Kent, Inglaterra, 1985
20. Chang, C. L. & Walker, A.
PROSQL: A PROLOG Programming Interface With SQL/DS
Publicado na Referência 21
21. Kerschberg, L. (Ed.)
Expert Database Systems
Benjamin/Cummings, CA, USA, 1986
22. Carey, M. J. ; DeWitt, D. J. & Graefe, G.
Mechanisms for Concurrency Control and Recovery in PROLOG - A
Proposal
Publicado na Referência 21